

新世纪高等学校电子信息类专业规划教材

现代通信原理与技术概论

程 韧 蒋 磊 编著

清华大学出版社
北京交通大学出版社
·北京·

内 容 简 介

本书深入系统地阐述了现代通信系统的基本概念、基本原理、基本方法。在重点论述传统通信技术基本理论的基础上,力求反映通信理论和通信技术的最新发展。

全书共 15 章,内容包括通信系统模型,通信信号分析,模拟调制解调技术,数字调制解调技术,模拟信号的数字化技术,信道纠错编码技术,网格编码调制技术,空时编码、正交频分复用技术,扩频技术,同步技术,最佳接收理论、典型通信系统及通信技术应用介绍等。

本书内容丰富,概念清晰,通俗易懂,注重理论联系实际。每章都附有习题。可作为高等学校计算机、通信工程和其他相近专业本科生教材,也可供从事这方面工作的广大科技人员阅读和参考。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62770175,010-62770176,010-62770177

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

本书防伪标签采用特殊防伪技术,用户可通过在图案表面涂抹清水,图案消失,水干后图案复现;或将表面膜揭下,放在白纸上用彩笔涂抹,图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目(CIP)数据

现代通信原理与技术概论 蒋磊,蒋磊编著. —北京:清华大学出版社;北京交通大学出版社, 2012.12

(21 世纪高等学校电子信息类专业规划教材)

ISBN 978-7-302-32400-0

I ① 现... II ① 蒋... III ① 通信理论—高等学校—教材 ② 通信技术—高等学校—教材 IV ① 621.01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 240000 号

责任编辑:张燕峰

出版者:清华大学出版社 邮编:100084 电话:010-62770175

北京交通大学出版社 邮编:100044 电话:010-62070178

印刷者:北京鑫海金澳胶印有限公司

发 行 者:新华书店总店北京发行所

开 本:185mm×260mm 印张:18.5 字数:380千字

版 次:2012 年 12 月第 1 版 2012 年 12 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-302-32400-0

印 数:1~5000 册 定价:49.00 元

本书如有质量问题,请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评,我们表示欢迎和感谢。

投诉电话:010-62770175,010-62770176; 传 真:010-62770175 邮 政 寄 售 处:010-62770175

前 言

通信是人类传递信息、交流思想、传播知识的重要手段。在当今飞速发展的信息时代,通信技术正以惊人的速度向前发展。通信技术与计算机技术的相互结合,使得现代通信的应用领域更加广泛。学习和掌握通信理论和技术是信息社会科技工作者的迫切需求。

本书系统阐述了现代通信系统的基本概念,基本原理,基本方法,并在重点论述传统通信技术基本理论的基础上,力求反映通信理论和通信技术的最新发展。本书紧扣通信原理的基本主线,结合实际应用系统和系统的仿真对一些抽象的或容易模糊的概念和内容给予直观清晰的讲解。在一些新技术及应用的内容上,如现代数字调制技术,网格编码调制技术,正交频分复用技术,空时编码,扩频通信技术,软件无线电中的调制解调算法等,结合相应物理模型给出基本的、易懂的详解,做到既通俗易懂,又不失严谨。总之,让读者在学习本课程中感到通信原理是一门有用的、有趣的课程,让读者真正有所收获。

全书共 15 章。第 1 章论述通信的基本概念和信息的度量,通信系统的构成和分类,传输信号的信道和噪声的特性分析及评价通信系统性能的指标,并对通信的发展趋势进行了展望;第 2 章分析了通信系统、通信信号及噪声的特性;第 3 章介绍了模拟调制系统的原理及其性能;第 4 章介绍了模拟信号的数字化方法;第 5 章对基带信号传输理论、方法和设备性能进行了讨论;第 6 章介绍了二进制数字调制的一般概念和相应的最佳接收机的性能,详细讨论了数字调制的 3 种基本方式;第 7 章介绍了近年发展起来的一些现代数字调制技术;第 8 章阐述信道复用和多址方式;第 9 章介绍了各种通信系统中的同步问题;第 10 章介绍了通信系统中的纠错编码方法;第 11 章介绍了现代通信中典型的通信系统、通信技术及其应用。

本书可作为高等学校计算机、通信工程和其他相近专业本科生教材,参考学时为 150~180 学时,也可供从事这方面工作的广大科技人员阅读和参考。

本书由程韧和蒋磊编写,程韧负责编写第 1~7 章,蒋磊负责编写第 8~15 章。参加编写工作的还有谢泽斌、康美萍、冷娟华、高猛、王伟、刘绎德、杨争斌、李东雷、周华光、赵而得和宋桔尔等。赵波、蒋宗良、张艳红、桑立、李金栋、易建平和邹斌等完成了全书文字的录入和插图的绘制。

鉴于作者水平有限,书中难免存在一些错误和论述不当之处,恳请广大读者批评指正。

编 者
程 韧 蒋 磊
2008 年 1 月

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 通信的概念和信息的度量	(1)
1.2 通信系统的构成	(2)
1.3 模拟通信与数字通信	(3)
1.4 通信方式	(4)
1.5 通信系统的性能指标	(5)
1.6 通信发展的历史、现状及趋势	(6)
思考题与习题	(6)
第 2 章 信号与噪声分析	(7)
2.1 信号的时域分析	(7)
2.1.1 确知信号的分析	(7)
2.1.2 随机信号的分析	(8)
2.2 信号的频域分析	(9)
2.2.1 信号的频谱分析	(9)
2.2.2 能量谱密度和功率谱密度	(10)
2.2.3 自相关函数与谱密度的关系	(10)
2.3 信号通过系统的分析	(11)
2.3.1 信号通过线性系统	(11)
2.3.2 希尔伯特变换	(12)
2.4 信道的数学模型	(12)
2.4.1 调制信道的数学模型	(13)
2.4.2 编码信道的数学模型	(13)
2.4.3 信道容量	(14)
思考题与习题	(14)
第 3 章 模拟调制系统	(15)
3.1 幅度调制的原理	(15)
3.1.1 标准调幅(AM)	(15)
3.1.2 抑制载波的双边带调幅	(16)
3.1.3 单边带调幅	(16)
3.1.4 残留边带调幅	(17)
3.2 线性调制系统的抗噪声性能	(17)
3.2.1 通信系统抗噪声性能的分析模型	(17)
3.2.2 线性调制相干解调的抗噪声性能	(18)
3.2.3 调幅信号包络检波的抗噪声性能	(18)
3.3 非线性调制(角调制)的原理	(18)

猿猿猿 角调制的基本概念	(猿猿)
猿猿猿 窄带调频与宽带调频	(猿猿)
猿猿猿 调频信号的产生与解调	(猿猿)
猿源 调频系统的抗噪声性能	(猿源)
猿缘 各种模拟调制系统的比较	(猿缘)
思考题与习题	(猿缘)
第 源章 模拟信号的数字传输	(猿源)
源源 连续信号的时间离散化	(猿源)
源源源 抽样的概念	(猿源)
源源源 理想抽样的频谱	(猿源)
源源源 带通型信号的抽样	(猿源)
源源 脉冲编码调制	(猿源)
源源源 量化	(猿源)
源源源 编码和译码	(猿源)
源源 自适应差值脉冲编码调制	(猿源)
源源源 压缩编码技术的概念	(猿源)
源源源 差值脉冲编码调制的原理	(猿源)
源源源 自适应差值脉冲编码调制的原理	(猿源)
思考题与习题	(猿源)
第 缘章 数字基带传输系统	(猿源)
缘源 数字基带信号波形与频谱特性	(猿源)
缘源源 数字基带信号波形	(猿源)
缘源源 数字基带信号的频谱特性	(猿源)
缘源 基带传输系统模型	(猿源)
缘源 数字基带信号的码型	(猿源)
缘源源 码型的定义	(猿源)
缘源源 二进制	(猿源)
缘源源 三元码	(猿源)
缘源源 多元码	(猿源)
缘源 无码间串扰的传输波形	(猿源)
缘源源 奈奎斯特第一准则 抽样值无失真的条件	(猿源)
缘源源 奈奎斯特第二准则 过零点无抖动的条件	(猿源)
缘源源 奈奎斯特第三准则 脉冲波形面积保持不变	(猿源)
缘源 无码间串扰基带系统的抗噪声性能	(猿源)
缘源 眼图	(猿源)
思考题与习题	(猿源)
第 远章 数字信号的频带传输	(猿源)
远源 二进制数字调制的一般概念	(猿源)
远源 二进制数字调制信号的最佳检测	(猿源)

远源景	误比特率 P_b 的表达式	(远源)
远源圈	最佳接收滤波器的传递函数	(远源)
远源猴	最佳检测接收机	(远源)
远源	二进制数字调制与解调原理	(远源)
远源景	二进制幅度键控	(远源)
远源圈	二进制频移键控	(远源)
远源猴	二进制绝对相移键控	(远源)
远源猴	二进制差分相移键控	(远源)
远源	二进制数字调制信号的功率谱密度	(远源)
远源	多进制数字调制	(远源)
远源景	多进制幅度键控	(远源)
远源圈	多进制相移键控	(远源)
远源猴	多进制频移键控	(远源)
远源猴	思考题与习题	(远源)
第 苑章	现代数字调制技术	(远源)
苑源景	正交振幅调制	(远源)
苑源圈	交错正交相移键控	(远源)
苑源猴	最小频移键控	(远源)
苑源猴	用高斯滤波的最小频移键控	(远源)
苑源景	产生原理	(远源)
苑源圈	产生信号的产生及频谱特性	(远源)
苑源猴	产生信号的解调	(远源)
苑源猴	π 键四相相移键控	(远源)
苑源景	π 键四相键控的相位关系	(远源)
苑源圈	π 键四相键控信号的产生	(远源)
苑源猴	π 键四相键控信号的检测	(远源)
苑源猴	软件调制	(远源)
苑源景	软件调制信号的数学描述	(远源)
苑源圈	软件调制信号的调制与解调	(远源)
苑源猴	软件调制调制的特点	(远源)
苑源猴	扩频调制技术	(远源)
苑源景	概述	(远源)
苑源圈	系统的基本原理	(远源)
苑源猴	典型的扩频通信系统	(远源)
苑源猴	扩频通信系统的性能指标	(远源)
苑源猴	软件无线电中的调制解调算法	(远源)
苑源景	软件无线电中的调制算法	(远源)
苑源圈	软件无线电解调算法	(远源)
苑源猴	思考题与习题	(远源)

第 8 章 信道复用和多址方式	(80)
8.1 频分多路复用原理	(80)
8.2 时分多路复用原理	(80)
8.3 多址通信方式	(80)
8.3.1 频分多址方式	(80)
8.3.2 时分多址方式	(80)
8.3.3 码分多址方式	(80)
思考题与习题	(80)
第 9 章 同步原理	(80)
9.1 载波同步	(80)
9.1.1 插入导频法	(80)
9.1.2 直接提取法	(80)
9.1.3 两种载波同步方法的比较	(80)
9.2 位同步	(80)
9.2.1 插入导频法	(80)
9.2.2 直接提取法	(80)
9.3 帧同步	(80)
9.3.1 帧同步系统的主要要求与功能	(80)
9.3.2 帧同步系统同步方法	(80)
9.4 网同步	(80)
思考题与习题	(80)
第 10 章 差错控制编码	(80)
10.1 纠错编码的原理	(80)
10.2 线性分组码	(80)
10.2.1 线性分组码的基本概念	(80)
10.2.2 线性分组码的构造	(80)
10.2.3 监督矩阵	(80)
10.2.4 生成矩阵	(80)
10.2.5 校正子	(80)
10.3 循环码	(80)
10.3.1 循环码的基本概念	(80)
10.3.2 循环码的多项式表述	(80)
10.3.3 循环码的数学描述	(80)
10.3.4 循环码的两个重要性质	(80)
10.3.5 循环码的译码	(80)
10.4 卷积码	(80)
10.4.1 卷积码的构造	(80)
10.4.2 卷积码的图解描述	(80)
10.4.3 卷积码的维特比译码	(80)

4.1.1	交织码	100
4.1.1.1	交织码的基本概念	100
4.1.1.2	交织码的编译码过程	100
4.1.1.3	交织码的优点	100
4.1.2	裁减网格编码	100
4.1.2.1	欧氏距离	100
4.1.2.2	裁减集分割原理	100
4.1.2.3	裁减码的构造原理	100
4.1.3	空时编码	100
4.1.3.1	空时编码的基本概念	100
4.1.3.2	空时编码的原理	100
4.1.4	思考题与习题	100
第 5 章	典型通信系统及通信技术应用介绍	100
5.1	第二代数字蜂窝移动通信系统	100
5.1.1	第二代系统的构成及功能	100
5.1.2	第二代系统的信令	100
5.2	码分多址蜂窝移动通信系统	100
5.2.1	第二代系统构成及功能	100
5.2.2	第二代系统的关键技术	100
5.3	第三代移动通信系统	100
5.3.1	第三代的主要性能特征	100
5.3.2	第三代系统的组成	100
5.3.3	第三代系统的关键技术	100
5.4	移动卫星通信系统	100
5.4.1	海事移动卫星通信系统	100
5.4.2	陆地移动卫星通信系统	100
5.4.3	航空移动卫星通信系统	100
5.4.4	低轨道移动卫星通信系统	100
5.5	接入技术及接入网	100
5.5.1	接入网协议	100
5.5.2	接入网地址	100
5.5.3	接入网	100
5.5.4	接入网的特点	100
5.6	接入网技术	100
5.6.1	接入网概述	100
5.6.2	接入网技术	100
5.6.3	接入网技术	100
5.6.4	思考题与习题	100
5.6.5	参考文献	100

第 1 章 绪 论

本章将简要介绍通信的基本概念和信息的度量、通信系统的构成和分类、传输信号的信道和噪声的特性,以及评价通信系统性能的指标,并对通信的发展趋势进行展望。

1.1 通信的概念和信息的度量

通信就是传递消息。古代的消息树、烽火台和驿马传令,现代的文字、书信、电报、电话、广播、电视、遥控、遥测等都是消息传递的方式或手段。实现通信的方式很多,随着社会的需求、生产力的发展和科学技术的进步,目前的通信越来越依赖于用“电”来传递消息的电通信方式。由于电通信迅速、准确、可靠且不受时间、地点、距离的限制,因而得到了迅速的发展和广泛的应用。当今在自然科学领域涉及“通信”这一术语时,一般均是指“电通信”。

传递消息的目的在于接收一方获取原来不知道的内容或信息。如何高效、准确地传递消息是通信系统研究的主要问题,因此,将各类消息中的共性,即接收端原本不知道的内容,抽象出来进行定量分析是非常必要的。消息是具体的,但它不是信息本身。消息携带着信息,消息是信息的表达者。对于某一个消息,不同的接收者所获取的信息量是不同的。例如,某一新闻,今天北京地区下了大雪,北京人从中没有获得任何信息,因为他们已经知道,而对于其他地区的人,却获得了一定的信息。再如天气预报预报某地区降雨概率为 0.5,人们普遍认为当天不会下雨,结果人们从当天下雨了的消息中获得的信息量要比从当天没有下雨的消息中获得的信息量大得多。因此从某一消息中获得的信息量的大小是与消息的接收者所处的状态有关。在日常生活中,信息这个用语缺乏确切的概念,而且有很强的主观性。科学上所说的信息正是从这个原始的、含糊不清的概念中加以概括、提炼而得到的,它有严格、确切的含义,有一定的数学模式并能定量描述。1948 年香农在“贝尔系统技术”杂志上发表了两篇有关“通信的数学理论”的文章,他用概率和数理统计的方法系统地讨论了通信的基本问题,得出了几个重要而带有普遍意义的结论,并由此奠定了现代信息论的基础。下面就简单介绍香农的以概率为基础对信息进行度量的方法。

人们通常把文字、语言、数据、图像等都看成是“消息”的集合,这些消息集合具有一定的统计特性或概率特性,因而将信息定义为对消息统计特性的一种定量描述。更具体地说,当人们得到消息之前,它的内容有一种不确定性,信息就是对这种不确定性的定量描述。当人们得到消息后,若消息所描述事件发生的可能性越小,就认为这个消息带给人们的信息量越大。可见,信息的量值与消息所代表事件的随机性或事件发生的概率有关。从这点出发,信息论利用统计学概念对信息提出了一种度量方法,把度量信息大小的物理量称为信息量,也称信息。设消息所代表的事件出现的概率为 P ,则该消息所含有的信息量为

$$I = -\log_2 P$$

式中,若对数底为 2,则信息量的单位为比特(bit),它代表出现概率为 P 的消息所含有的

信息量。在通信系统中,当所传递的消息是两个等概率的消息之一时,任一消息所含有的信息量为 $\log_2 2 = 1$ 例如投掷硬币,消息集合为国徽和麦穗,发生的概率各为 $\frac{1}{2}$ 投掷后,获得的信息量是

$$-\log_2 \frac{1}{2} = 1$$

再如投掷骰子,消息集合为[1,2,3,4,5,6],发生的概率各为 $\frac{1}{6}$ 投掷后,获得的信息量是

$$-\log_2 \frac{1}{6} \approx 2.58$$

在数字通信中,通常用符号来传递信息且假设所有符号等概率出现。如果采用二进制符号,则消息集合为[0,1],每个符号包含的信息量为 $-\log_2 \frac{1}{2} = 1$ 若采用四进制符号,消息集合为[0,1,2,3],每个符号包含的信息量为 $-\log_2 \frac{1}{4} = 2$

通信的目的是传递信息,而通信原理所要研究的问题是如何有效地、可靠地传递信息。所谓有效就是高效率地传递信息,或者说利用较少资源传递更多的信息。在这里资源是指占用的时间和占用的频率带宽,信息量正如上面所讨论的,它有着严格的、科学的定义并能够定量地描述。而可靠性则是指准确无误地传递信息,或者可以表述为信息经过传输后信息量损失了多少。因此,对信息的定量描述是通信理论的基础,深刻地理解这一概念对学习通信理论和技术是至关重要的。

1.1 通信系统的构成

通信是从一地向另一地传递和交换信息。实现信息传递所需的一切技术设备和传输媒体的总和称为通信系统。基于点与点之间的通信系统的模型可用图 1-1 来描述。

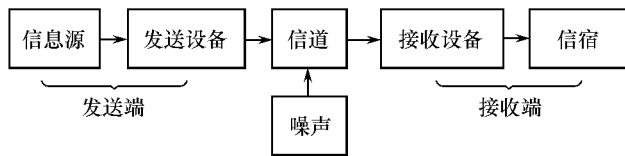


图 1-1 通信系统的一般模型

信源把各种消息转换成原始电信号,称之为消息信号或基带信号。根据信息源输出信号的性质可分为模拟信源和离散信源。模拟信源输出幅度连续的信号,如电话机、电视机和摄像机的信号;离散信源输出离散的符号序列或文字,如电传机、计算机等各种数字终端设备的信号。模拟信源可以通过抽样和量化转换为离散信源。随着计算机和数字通信技术的发展,离散信源的种类和数量越来越多。

1.1.1 发送设备

发送设备的基本功能是将信源和信道匹配起来,即将信源产生的消息信号变换成适合在信道中传输的信号。变换方式是多样的,在需要频谱搬移的场合,调制是最常见的变换方式。对数字通信系统来说,发送设备常常又可分为信源编码与信道编码设备。

4.1.1 信道

信道是指传输信号的物理媒质。在无线信道中,信道可以是大气(自由空间),在有线信道中,信道可以是明线、电缆或光纤。有线和无线信道均有多种物理媒质,媒质的固有特性及引入的干扰与噪声直接关系到通信的质量。根据研究对象的不同,需要对实际的物理媒质建立不同的数学模型,以反映传输媒质对信号的影响。

4.1.2 噪声

噪声的来源是多样的,它可分为内部噪声和外部噪声。内部噪声是由通信设备内部产生的,如半导体器件中的散弹噪声、热噪声等;外部噪声往往是信号在传输过程中从信道引入的。为了分析方便,把噪声源视为各处噪声的集中表现而抽象加入到信道。

4.1.3 接收设备

接收设备的任务是完成信号的接收及对接收信号进行处理,从接收到的带有干扰的信号中正确恢复出相应的原始基带信号来。

4.1.4 信宿

信宿是传输信息的归宿点,其作用是将复原的原始信号转换成相应的消息。

图 4-1-1 概括地描述了一个通信系统的组成,它反映了通信系统的共性,因此称之为通信系统的一般模型。根据研究的对象及所关注的问题不同,图 4-1-1 所示模型中的各小方框的内容和作用将有所不同,因而相应地有不同形式的更具体的通信模型。今后的讨论就是围绕着通信系统的模型中的各个部分而展开的。

4.2 模拟通信与数字通信

通信时有待传输的消息是多种多样的,它可以是符号、文字、语声、图像等。然而,所有不同的消息,都可以把它们归结成两类,一类称为离散消息,一类称为连续消息。离散消息是指消息的状态是离散型的并且数量是有限的,比如 26 个英文字母,10 个阿拉伯数字等。离散消息也称为数字消息,它们都可以用有限个离散的符号表示,并且与这些符号一一对应。而连续消息则是非离散型的,即消息状态是连续变化的,在一定的范围内,消息的状态有无穷多个。例如,强弱连续变化的语音、亮度连续变化的图像等。连续消息也称为模拟消息。

为了传递消息,各种消息需要转换成电信号。如话音经拾音器转化为话音信号,图像经摄像机或扫描仪转化为图像信号。通常消息被寄托在电信号的某一参量上,如连续波的幅度、频率或相位,脉冲波的幅度、宽度或位置。如果电信号的参量对应于模拟消息而连续取值,则称这样的信号为模拟信号或连续信号,例如普通电话机输出的信号就是模拟信号,如图 4-2-1 所示,图 4-2-1 给出了对其进行 AM 调制后的 AM 调制波形,AM 调制信号的包络是随图

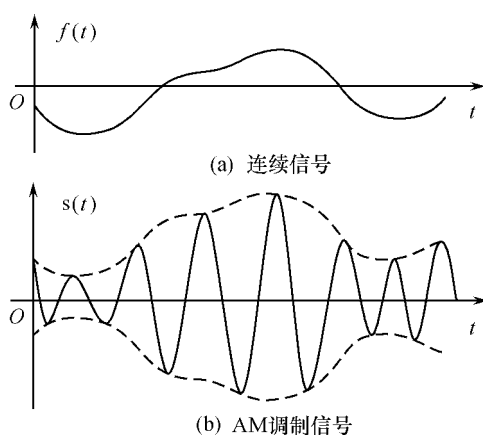


图 4-2-1 模拟信号波形

图 1-1-1 的信号连续变化的, 是一模拟信号。如果电信号的参量携带着离散消息, 则该参量必将是离散取值的, 这样的信号就称为数字信号。例如, 电传机输出的信号就是数字信号, 如图 1-1-2 所示, 图 1-1-2 给出了对其进行图 1-1-2 调制后的已调信号波形, 数据为 0 时, 载波相位为 0, 数据为 1 时, 载波相位为 π 。图 1-1-2 信号波形的相位在码元转换时的取值是离散的, 且数量是有限的, 因此是一数字信号。应当指出, 也可以先把模拟信号变换成数字信号, 这种变换称为模数转换, 经数字通信方式传输后, 在接收端再进行相反的变换称为数模转换, 以还原出模拟信号。

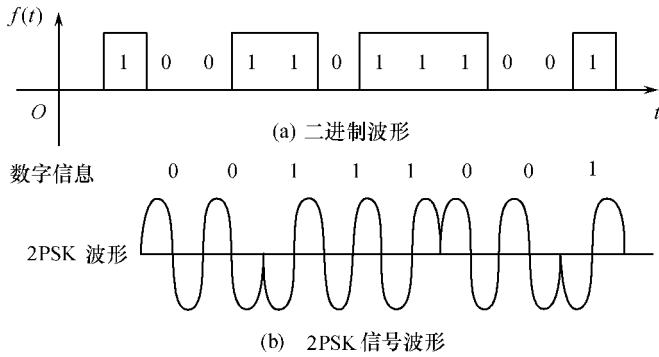


图 1-1-2 数字信号波形

根据信道中传输的是模拟信号还是数字信号, 可以相应地把通信系统分成两类: 模拟通信系统和数字通信系统。

在模拟通信系统中, 信道上传输的是模拟信号, 模拟通信系统模型如图 1-1-3 所示。信源发出的原始电信号称为基带信号, 基带信号一般具有频率较低的频谱分量, 如语音信号为 300~3400 Hz, 图像信号为 0~5.5 MHz。这类信号如果直接在信道中传输, 会产生很大的衰减,

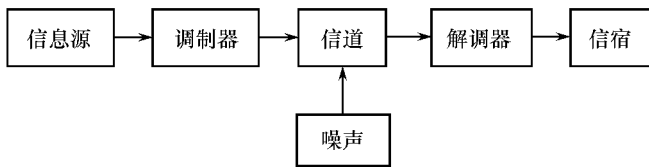


图 1-1-3 模拟通信系统模型

因此, 基带信号一般不宜直接传输, 这就需把基带信号变换成适合在信道中传输的信号, 并可在接收端进行反变换。完成这种变换和反变换作用的设备称为调制器和解调器, 经过调制以后的信号称为已调信号。已调信号有 3 个基本特征, 一是携带有信息, 二是适合在信道中传输, 三是信号的频谱具有带通形式且中心频率远离零频, 因而已调信号又称频带信号。需要指出的是, 在消息从发送端到接收端的传递过程中, 不仅仅只有连续消息与基带信号和基带信号与频带信号之间的两种变换, 实际通信系统中可能还有滤波、放大、天线辐射、控制等过程。由于调制与解调两种变换对信号的变化起决定性作用, 而其他过程不会使信号发生质的变化, 只是对信号进行了放大或改善了信号特性, 因而不予讨论。

数字通信系统是利用数字信号来传递信息的通信系统, 如图 1-1-4 所示。

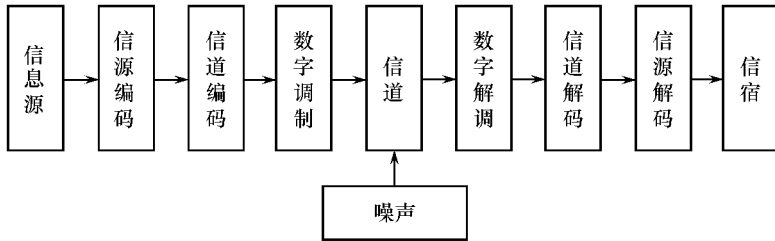


图 1-1 数字通信系统模型

1.1 信源编码与译码

信源编码与译码的作用之一是设法减少码元数目和降低码元速率,即通常所说的数据压缩。码元速率将直接影响传输所占的带宽,而传输带宽又直接反映了通信的有效性。作用之二是,当信息源给出的是模拟语音信号时,信源编码器将其转换成数字信号,以实现模拟信号的数字化传输。第 2 章中将讨论模拟信号数字化传输的两种方式,即脉冲编码调制(PCM)和差值脉冲编码调制(DPCM)。信源译码是信源编码的逆过程。

1.2 信道编码与译码

数字信号在信道传输时,由于噪声、衰落及人为干扰等,将会引起差错。为了减少差错,信道编码器对传输的信息码元按一定的规则加入保护成分(监督元),组成所谓“抗干扰编码”。接收端的信道译码器按一定规则进行解码,从解码过程中发现错误或纠正错误,从而提高通信系统抗干扰能力,实现可靠通信。

1.3 加密与解密

在需要实现保密通信的场合,为了保证所传信息的安全,人为地将被传输的数字序列扰乱,即加上密码,这种处理过程叫做加密。在接收端利用与发送端相同的密码复制品对收到的数字序列进行解密,恢复原来信息,叫做解密。

1.4 数字调制与解调

数字调制就是把数字基带信号的频谱搬移到高频处,形成适合在信道中传输的频带信号。基本的数字调制方式有振幅键控(ASK)、频移键控(FSK)、绝对相移键控(PSK)、相对(差分)相移键控(DPSK)。对这些信号可以采用相干解调或非相干解调还原为数字基带信号。对高斯噪声下的信号检测,一般用相关器接收机或匹配滤波器实现。

目前,无论是模拟通信还是数字通信,都是已经获得广泛应用的通信方式。尽管早期的通信是数字通信,如低级的电报通信,但在一个很长的时期中,它却比模拟通信的发展缓慢得多,实际使用的通信设备也远比模拟通信的少。但是,在 20 世纪中叶以后,随着大规模集成电路和计算机技术的发展,数字通信日益兴旺起来,甚至目前出现了数字通信替代模拟通信的趋势。

与模拟通信相比,数字通信更能适应对通信技术越来越高的要求。第一,数字传输的抗噪声(或干扰)能力强,尤其在中继时,数字信号可以再生而消除噪声的积累;第二,可以采用纠错编码技术对传输中的错误给予纠正,从而改善了传输质量;第三,便于使用现代计算技术来对数字信息进行处理,如数字信息易于加密且保密性强;第五,数字通信可以传递各种

消息,使通信系统变得通用、灵活。随着社会对高效、快捷、可靠的通信的需要越来越迫切,要求越来越高,以及数字元器件及计算技术的发展,都为数字通信的高速发展创造了条件。

但是,事物总是一分为二的,一般说来,数字通信的许多优点都是要付出代价的。比如数字通信与模拟通信相比,占据更宽的系统频带。以电话为例,一路模拟电话通常只占据源噪带宽,但一路数字电话可能要占据约 4 倍的源噪带的带宽。因此,数字通信的频带利用率不高。在系统频带紧张的场合,数字通信的这一缺点就显得更为突出。然而,随着社会生产力的发展,有待传输的数据量急剧增加,传输可靠性要求越来越严,保密要求也越来越高。因而,实际中往往宁可牺牲系统频带而采用数字通信。至于在系统频带宽的场合,比如毫米波通信、光通信等场合,数字通信几乎成了惟一的选择。

1.1.1 通信方式

信号在信道中传输,可采用多种方式,包括点到点通信和组网通信,单工传输、半双工传输和全双工传输,串行传输和并行传输,同步传输和异步传输。下面就这些传输方式进行简单介绍。

1.1.1.1 点到点通信和组网通信

按通信对象数量的不同,通信方式可以分为点到点通信、点到多点通信、多点间通信。其中,点到多点通信、多点间通信又可归为组网通信。

点到点通信是指通信是在两个对象之间进行,如图 1-1-1(a)所示。点到多点通信是指一个对象与多个对象之间的通信,如图 1-1-1(b)所示。多点间通信是指多个对象之间的相互通信,如图 1-1-1(c)所示。

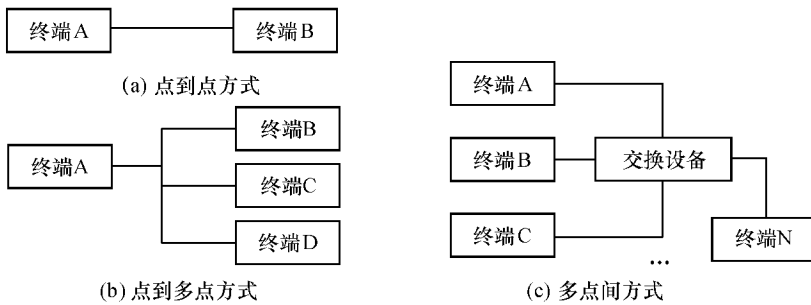


图 1-1-1 通信系统网络形式

1.1.1.2 单工、半双工和全双工传输

通常,如果通信仅在点与点之间进行,那么,按消息传送的方向与时间,通信的方式可分为单工通信、半双工通信及全双工通信三种。

所谓单工通信,是指消息只能单方向传输的工作方式,如图 1-1-2(a)所示,例如广播、遥控,就是一种单工通信方式。

所谓半双工通信方式,是指通信双方都能收发消息,但不能同时进行收和发的工作方式,如图 1-1-2(b)所示,例如,使用同一载频工作的普通无线电收发报话机,就是按这种通信

方式工作的。

所谓全双工通信,是指通信双方可同时进行双向传输消息的工作方式,如图 4-1-3 所示,例如,普通电话就是最简单的一种全双工通信方式。

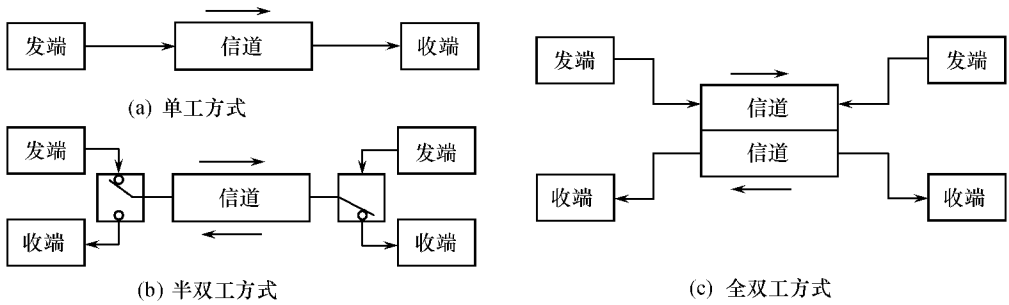


图 4-1-3 通信方式示意图

4.1.2 串行传输和并行传输

串行传输和并行传输是指数据通信中的数据传输方式。

在串行传输中,数据流的各个比特是一位接一位地在一条信道上传输的,如图 4-1-4 所示。在二进制传输方式中,一个比特就是一个码元,一个字符用几位二进制码的一种组合来表示,这种组合称为码组,如字符“粤”用 4 位二进制码表示字符,字符“粤”的编码为 01011000。码元在信道上传输时是用信号电平的大小来表示的,例如码元“1”用持续一个码元时间的正电平表示,码元“0”用持续一个码元时间的负电平表示。串行传输中,收发双方只需要一条传输通道,所以,传输 4 位二进制码元要用 4 个码元周期的时间。因此,串行传输与并行传输相比,数据传输速率较低,并且除了要保证收发间的码元同步外,还要保证字符同步。但该传输方式实现容易,是实际中较为常用的一种传输方式。

在并行传输中,一个编码字符的所有比特是同时传送的,码组的每一位都单独使用一条通道,如图 4-1-5 所示。并行传输通常用于现场通信或计算机与外设之间的数据传输。并行传输一次传送一个字符,收发之间不存在字符同步问题。长距离传输时,由于并行传输成本高,很少采用,多采用串行传输。串行传输存在着并/串、串/并转换问题,即发送端要将计算机中的字符进行并/串转换,接收端再通过串/并转换,还原成计算机的字符。显然,在相同的发送时钟控制情况下,并行传输速率高于串行传输速率。

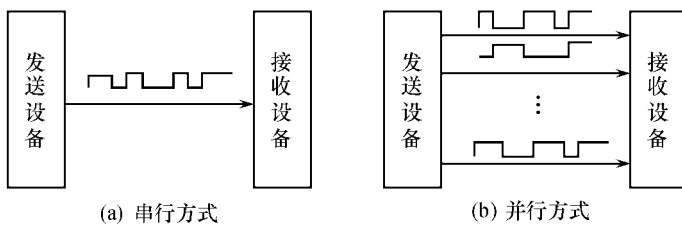


图 4-1-4 串行和并行传输方式

源同步传输和异步传输

同步传输和异步传输是按数据通信中收方和发方之间为保证码元和字符的同步而采用的不同的同步方式来区分的。

异步传输也称为起止式传输,它是利用起止法来达到收发间的码元和字符同步的。异步传输用起始位和停止位来指示被传输字符的开始和结束,每个起始位和停止位之间只传一个字符。在异步传输中,字符的传输由起始位引导,表示字符的开始,起始位为逻辑 员用低电平表示,起始位的宽度占一个码元的时间,被编码的字符后面通常附加一个校验位,校验位后面为停止位,停止位为逻辑 园用高电平表示,通常为 员员或 圆个码元宽度,可根据需要选择。在下一个字符的起始位收到之前,线路一直处于逻辑 园状态,接收方根据从 园到 员的跳变来识别一个新字符的开始(如图 员原所示)。

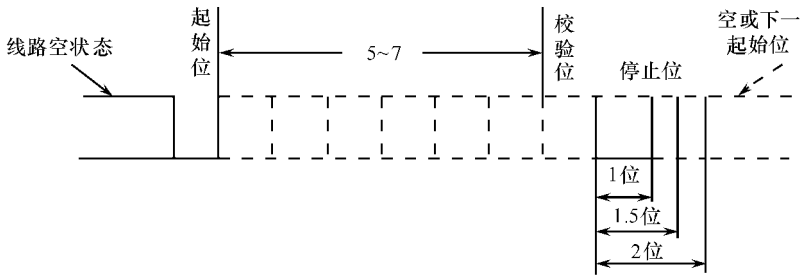


图 员原 异步传输

异步传输方式的每一个字符的发送都是独立和随机的,以不均匀的速率发送,所以这种方式被称为异步传输。异步传输方法简单,除了收信道、发信道外,不需要另外的信道发送定时或字符同步信号,也不需要从收到的信号中提取定时信号。但每个字符要有 圆猿位的附加位,故传输效率低。例如,传输一个 粤渊码字符,每个字符有 苑位,若停止位用 圆位,加上 员位校验位和 员位起始位共计 员位。员位传输码中只有 苑位是有用信息,传输效率只有 远豫。

同步传输可分为外同步和自同步两种方式。外同步是占用另外一条信道传送同步信号,收端根据收到的同步信号来进行码元同步和字符同步或帧同步。自同步是从收到的信号中提取同步信号。通常,如果一帧长度比较短,如一个字符长,则只需发帧同步信号即可,不需要另加码元同步信号。如果一帧长度较长,则除了帧同步外,还要进行位同步。对于远距离大数据量的传输,通常不是以一个字符而是以一个数据块为传输单位,传输中的位同步采用自同步方式,即在收端,由通信设备从接收信号中提取出位定时信号,接收定时必须始终保持,以避免接收的比特重叠或丢失。而帧同步则采用与异步传输相同的方法。为了使收方能准确地确定数据块的开始和结束,需在数据块的前面加上一个前文(标志字节),表示传输数据块的开始,在数据块的后面加上一个后文(标志字节),表示传输数据块的结束。加有前文和后文的数据块称为一帧(数据块)。前文和后文的具体格式视传输控制规程而定。图 员原示出了面向字符型和面向比特型的帧结构。面向字符型的方案,每个数据块以一个或多个同步字符(标志字节)作为开始,后文是一确定的控制字符。面向比特型的方案,如果采用高级数据链路控制(HDLC)规程,则前文和后文采用标志字节(标志字节)以区分一帧的开始

和结束。

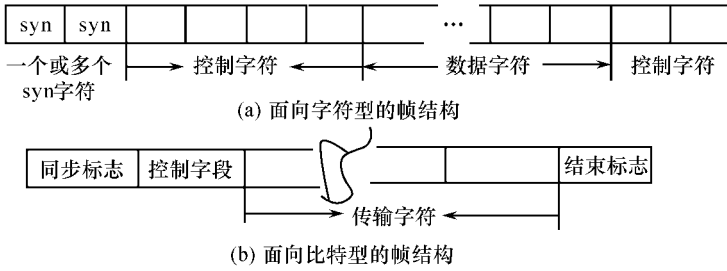


图 1-10 同步传输帧结构图

在实际中,人们常将同步传输称为同步通信,异步传输称为异步通信。同步通信的效率要比异步通信的效率,因此同步通信方式更适用于高速数据传输。

1.1.2 通信系统的性能指标

通信的任务是传递信息,因此传输信息的有效性和可靠性是通信系统最主要的性能指标。有效性衡量在给定信道内能传输的信息量的多少,而可靠性衡量接收信息的准确程度。这两者是相互矛盾而又相互联系的。

模拟通信系统的有效性可以用信号在传输中所占用的传输频带来度量,同样的消息用不同的调制方式,则需要不同的频带宽度。可靠性用接收端最终输出信噪比来度量。通常电话要求的信噪比为 30dB,电视则要求 40dB 以上。不同调制方式在同样信道信噪比下所得到的最终解调后的信噪比是不同的。如调频信号抗干扰性能比调幅好,但调频信号所需传输频带却宽于调幅。

对于数字通信系统,有效性可用信息传输速率来衡量。信息传输速率定义为每秒钟所传的信息量,其单位是比特/秒。对二进制信号,当 0 和 1 取值等概率时,一个二进制码元所含的信息量为 1 比特,所以,二进制信号信息传输速率就等于每秒钟传输的码元数。信息速率常称比特率,如比特率为 1000 比特/秒,意味着每秒传送 1000 个二进制脉冲。当信道一定时,信息速率愈高,有效性也就愈好。为了提高有效性,可以采用多进制信号传输,此时,每个码元携带的信息量超过 1 比特。例如,对于四进制码元,一个码元所含的信息量为 2 比特,每秒钟传输的码元数称为码元传输速率。码元速率的单位为波特,码元传输速率又称为波特率。若码元速率用 R_B 表示,信息速率用 R_B 表示,则它们之间的关系为

$$R_B = R_B \cdot \log_2 M$$

如果每秒传送 1000 个码元,则码元速率为 1000 波特。若采用四进制,每个码元携带 2 比特信息,则信息速率为 2000 比特/秒。此外,在比较不同的数字通信系统的效率时,单看它们的传输速率还不够,或者说,即使两个系统的传输速率相同,但它们传输信息所占用的频带宽度可能不同。如果其中一个系统在一定的频带宽度内能够实现更高的信息传输速率,则说它的频带能够被更有效地利用。我们定义通信系统的频带利用率为